



TITLE:

まとめ(<特集>地球及び惑星の内部構造について,研究会報告)

AUTHOR(S):

武谷, 三男; 小野, 周; 藤本, 陽一

CITATION:

武谷, 三男 ...[et al]. まとめ(<特集>地球及び惑星の内部構造について,研究会報告). 物性研究 1966, 7(1): 127-137

ISSUE DATE:

1966-10-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/85931>

RIGHT:

ま と め

武 谷 三 男 (立 大、理)

小 野 周 (東 大、教養)

藤 本 陽 一 (早大、理工研)

研究会の討論をまとめて、今後の問題点を明らかにし、研究のストーリーの材料とする。

§1 太陽系生成過程の分類

太陽系の生成過程を次の4つに分ける

- I 星間ガス
- II 非平衡重力収縮の stage
 - II_a discとcoreとのinteraction.
 - II_b planetsの発生
- III 重力平衡の stage
- IV 主系列の stage

I 星間ガス

星間ガスの雲が集つて星になりはじめる。ガスの初期状態としてはHI regionと同じようなものを考える。すなわち、水素が主成分で、ガスと微少固体のdust (or grain)とからなっている。数値は、たとえば、density ~ 10 atoms/c. c. ガス温度 $\sim 100^\circ\text{K}$, 全体は光に対して透明。

〔問題点〕

- 1) ガス、dust, radiationの平衡状態と、その平衡に近づく早さを物理的に求めてみる。radiationがあるのでふつうの化学平衡とはことなることに注意してみる。固体は温度がガスよりも高い。ガスの温度には、cosmic rayのionizationがきいている可能性がある。

武谷、小野、藤本、

2) dust の形

気体からそのまま固体になつたとすると、針状または雪状であろうが、他の effect で風化されてまるくなるかどうか、chondorule のような形になるものだろうか。

3) dust と gas との relative motion

粘性 (分子 collision) 及び charge (dust は多かれ少かれ charge up している) の effect で dust は gas cloud にくつついて動くがその effect は dust size の小さいほど大きいであろう。それを半定量的に求めてみる。

このような問題をといて、inter-stellar matter の性質を物性論から求められるものは準備しておくこと。

II 非平衡重力収縮

星間物質が集まって、原始太陽系をつくりはじめてから、hydro-static equilibrium state となるまでの間の重力収縮の段階のことである。一方では、これは、原始太陽が水星の orbit 位の大きさにちぢむまでにあたると思われる。今までの多くの議論でこの stage は free fall として力学のみで取扱われてきたが、本当は angular momentum, magnetic field を考えて、plasma の問題としてあつかわねばならない。

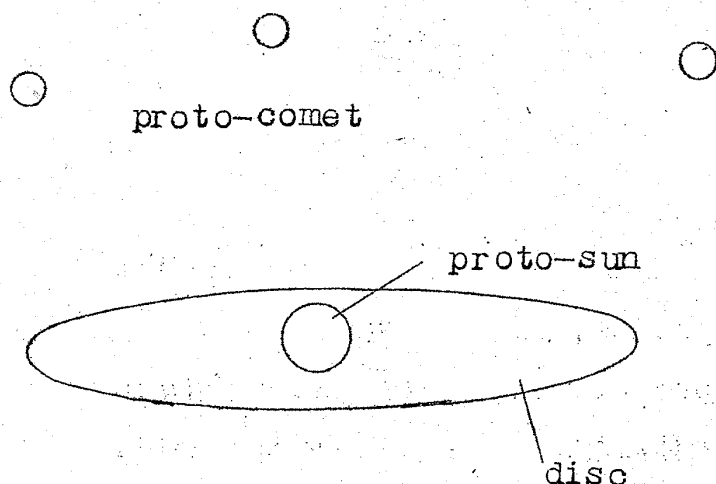
しかし、これをはじめから定量的にきつちり解くのは多分不可能であろう。それで、galaxy の進化のときの discussion が相似的に用いられるかをまづ dimension 解析でしらべてどのような similarity relation が成立つかを見る。その上で galaxies, 及び、太陽系ばかりでなく連星系、星団、にある程度共通な一般的な議論を用意すること。

1つの考え：

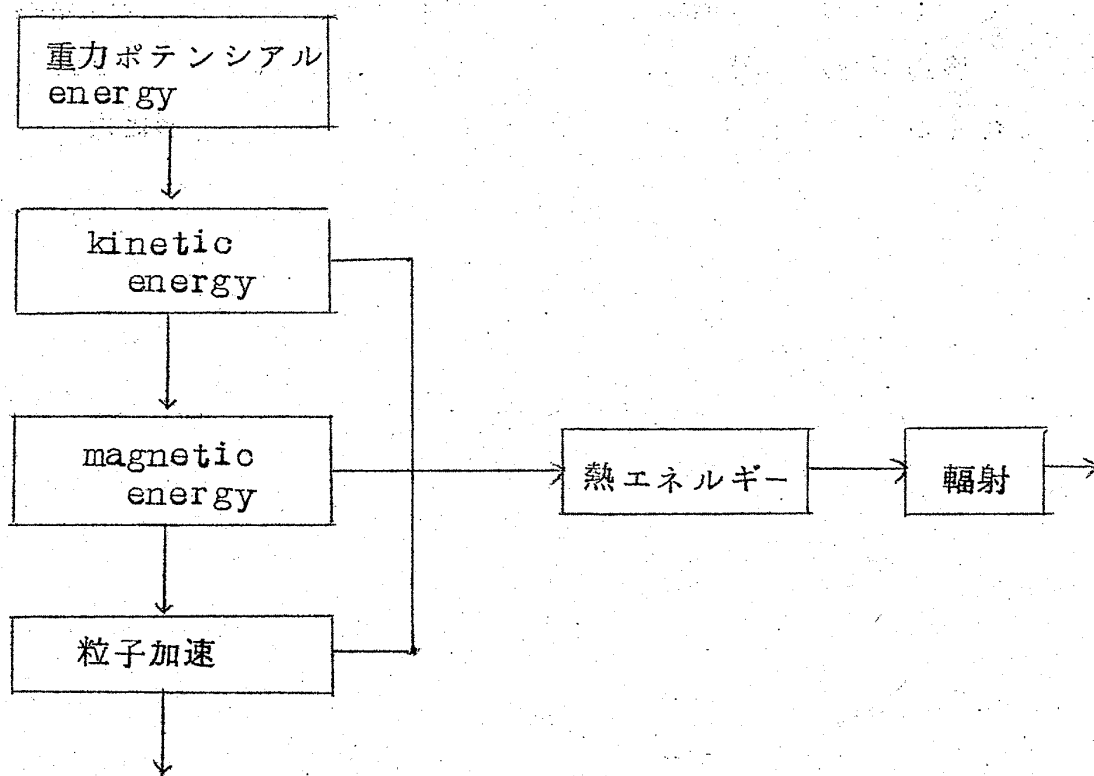
angular momentum の効果、 $l \sim 0$ の部分が中心部にあつまり、 $l \sim$ 有限の部分が周辺にあつまり、もともと不定形または球形の system が平たくなつて core+disc となる。一ぺん disc ができかけると gas cloud と disc との interaction でますます沈澱がはやくなる。

まとめ

disc への沈澱からとりのこされた部分から comet ができる。とりのこされるのは、遠方であるが、あるいは早く固体化してしまった部分である。



重力収縮時における energy の流れと物質変化について、magnetic field が重要な役割りをする。energy flow のダイアグラムは、



武谷、小野、藤本

粒子加速に行く energy は無視できない。粒子加速の結果生れた cosmic ray はまわりの物質と衝突して、熱核反応ではできないような isotopes をつくる。このようにしてつくられる物質は太陽ではなく周辺部のみであることに注意 核反応の星をもとめること。

IIa disc と core との interaction.

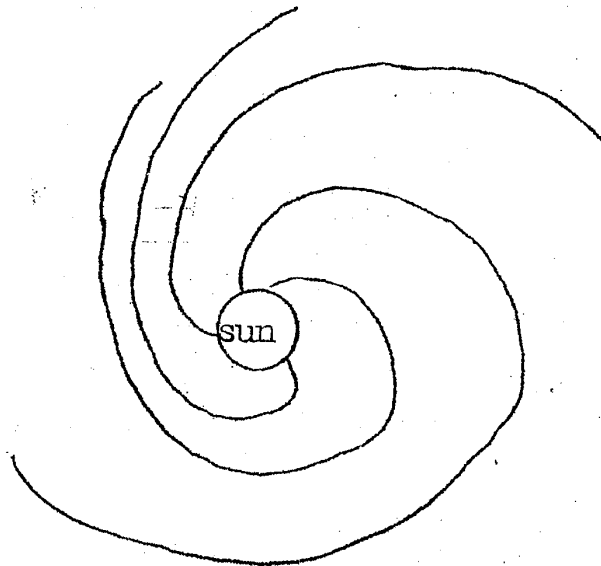
disc-core 系で次の問題を考えること。

1) core の angular momentum の disc への移動

2) disc 内で proto-planet が生れる

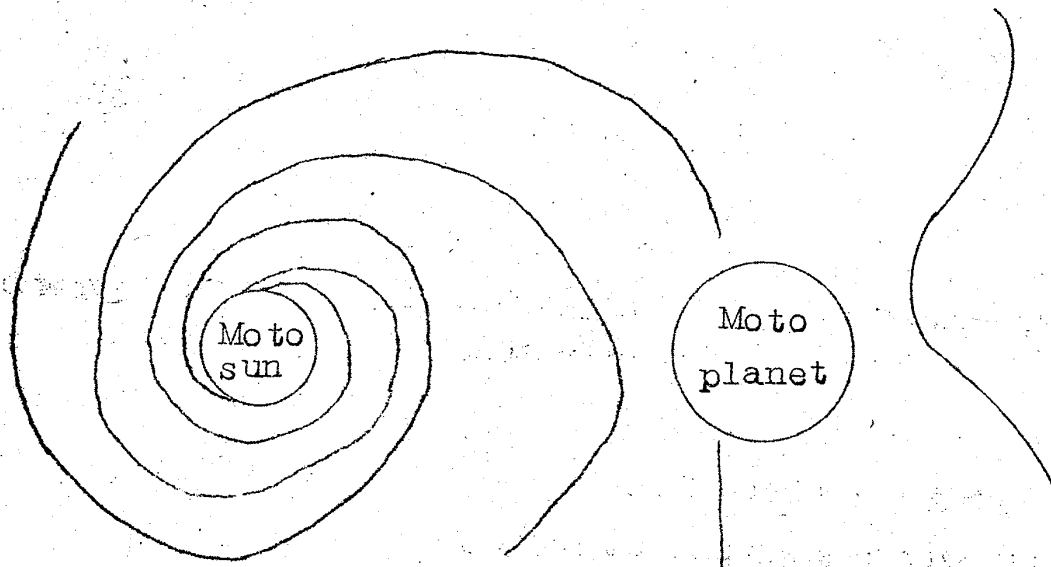
1), 2) のような process は、物質が gas 状で相互作用がつよくないととてもおこらない。固体になつてしまうと固体間の collision cross section は小さいので、1) 2) はおこらないだろう。gas 間の magnetic interaction が essential である。この問題は、galaxies における bar や spiral の発生と関係がある。

1つの考え ; core の廻転と disc の廻転の差、core 部分の発熱によって、物質移動が内から外におこる。それが mag. line of forces をひっぱって行くので、全系は galaxy のときのように spiral 形になる。



まとめ

spiral の中に irregular 部分があると、そこに物質集中がおこって proto-planet となる。magnetic line of forces によつて、core の角運動量が proto-planet に移動する。



II₀ proto-planet の生表

これまで planet の生表過程は、次のような step を考えてきた

ガ ス

↓

気体→固体の凝質

grain

↓

grain 同志の collision のさいの粘着

planetesimal

↓

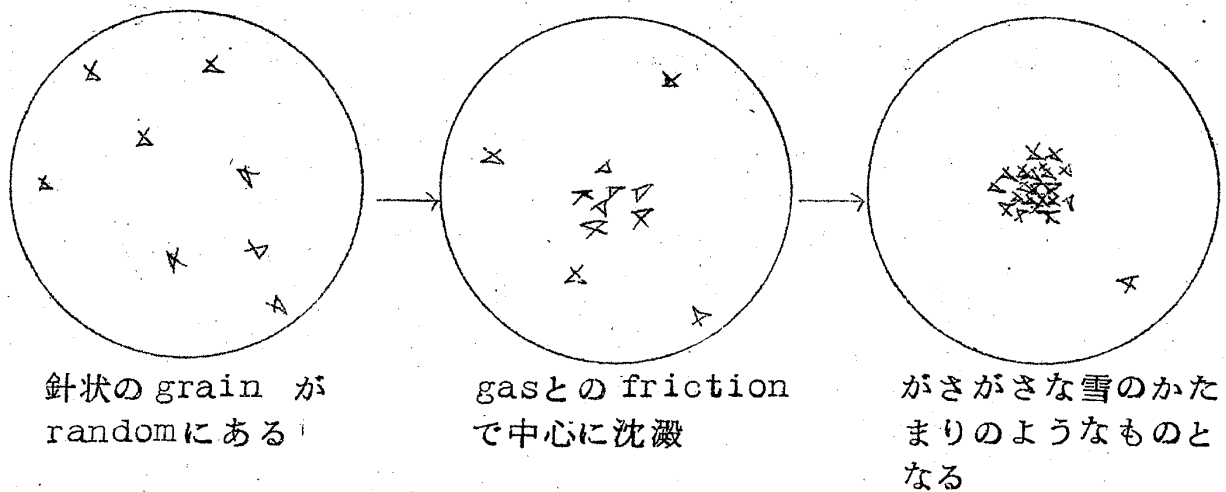
重力による集合

planet

このような process が effective におこるには、まず固体どうしの collision がひんばんに行われ、しかも、relative motion が十分に小さくて、粘着がうまく行かなければならない。そのためには固体 grain とガスとの friction で中心に沈澱したとする可能性は大きい。その上で粘着力がきくのであろう。

gas と grain との共存系であるとするのが本質的な役をすることが指摘される。process を図にあらわすと

武谷、小野、藤本



大きくかたまと中心は自分の重みでかたまつて固体核となりあつい水素の大気におおわれた木星型の planet ができる。

問題点

- 1) gas-grain の共存系の動作をしらべて 物質中の速さを求める。
- 2) comet の核がこのような共存系の一例であると考えられるのでその物性をしめすデータを求める

III 重力平衡状態

hydrostatic equilibriumにたつたあとの太陽の進化については、計算値をかなり信用してよいであろう。林 et. al によれば、初期に対流のきいている stage がある。ここでは luminosity は現在の数百倍にたつするほど大きくなるし、又、matter ejection などげしい activity もあるだろう。

〔問題点〕 大きな luminosity がもたらす effect を明かにすること、たとえば、それによつて太陽に近い planet は熱せられ、水素ガスからできている大気はすべて逃げてしまうだろう。このようにして、水素ガスのない地球形惑星ができる、これでよいか。

〔問題点〕 comet は太陽系の遠方から太陽に近い所にくるものもある。

そのときつよい radiation でどのような effect をうけるか。
つよい activity, matter ejection がおこす effect もしらねばならない。

〔問題点〕 angular momentum の transfer, cosmic ray production, isotope production についての matter ejection, flare の effect をあたること。

chondrule のような球形構造についての一つの考え

惑星のうち小さいもの及び惑星の表面部分、comet の核などがサガサのものにつよい radiation があたって、ザラメ雪のようなものになるだろうが、それが chondrite であるとする。

IV 主系列へ入る

太陽の状態はあまり変らないので、話はもっぱら惑星のこととなる。

§2 惑星の層状構造

I 地球について、

現在地球は、内核、核、マントル、crust, 水及び大気など層状構造をもっている。層状構造のできあがる process を考えるとき、地球の内部が生成の過程で一たんとけたかどうかによつて話がちがう。一旦とけたとすると、それが固体になることは非常に長い時間 (5×10^9 年に比べて) を必要とすると考えられているので、一旦とけたとすることには非常に大きな問題がある。

このような、現在地球内部が高温になつているのは、地球をつくつた原始物質にふくまれている放射性元素の disintegration によるものと考えられるが、現在の展状構造は 4.5×10^9 年程前にできたと考えられる。このほか、重いものが、地球の中心の方へ沈降するときのポテンシャル・エネルギーも、決して無視することはできない。

この問題を考えるときに、大きな問題になるのは、地球から（地球内部から）熱が失われる速さであつて、この estimation はかならずしもよくあたられていない。

武谷、小野、藤本

月については、月は一旦とけたと考えられる理由がいろいろあるが、月と地球については次の点が相違している。

	月	地球
内部の圧力	低	高
重力によるエネルギー	小	大
放射能によるエネルギーの蓄積	されにくい	されやすい
液体の核	存在しない	存在している

したがって、月と地球が同時にできたとしたとき、理論は定性的に上の二つの条件を同時に満足していなければならない。

II 隕石の parent body

隕石、惑星を形成している物質は現在 chondrite をつくっている成分であると考えられるが、惑星は、このような物質が集合した後層状構造を形成した、 4.5×10^9 年以上前、

隕石の parent body も planetesimal よりも大きい、一定の大きさの「小惑星」であつたとみられる、chondrite は 10^7 年程度前に、この parent body がこわれてできた。

一方、iron meteorite と achondrite は、この二つを合わせたものがもとの chondrite で、parent body が層状構造をつくり、これがこわれて、その core の部分は iron meteorite になり、外側の部分は achondrite になつたものとみられる。

一方現在の隕石を phase diagram の上からみると、これは高圧の下でできたものとは考えられない。

一方、chondrite 自身の構造は、コンドリュールといわれる球状の粒がマトリックスの中に入つたものになっている。

ここで、コンドリュールは液滴になつて団体になり、マトリックスは液相をとらないで直接気体になつたものという考えが成り立つ。

これに関係するものの dimension は次の通りである。

グレイン	～	0.5μ
コンドリユール	～	1mm ?
ブラネテシマル	～	10m

III 惑星大気

太陽系生成の初期には、惑星の大気の組成は大体類似のものであったと考えられる。しかし、太陽が重力平衡に達する前の非常に短い時間 (C. Hayashi によれば30年)、太陽の luminoritz は、現在の100倍になり、そのときには、熱輻射と solar wind のため、惑星大気は、ふきとばされたと考えられる。しかし、現在の木星の位置では、この太陽の影響も、現在の地球に対する太陽の影響の程度のものであるから、木星型惑星の大気は、生成当時のまま保存されていると考えられる。これに対し、地球、金星などの大気は、この後で新しく内部から分離して発生したものである。

地球の大気の中にある酸素は、葉緑素の同化作用の結果生じたものである。しかし、現在の酸素の量が葉緑素の作用とすると、どれだけの量の葉緑素と時間とが必要かということが問題になるかもしれない、

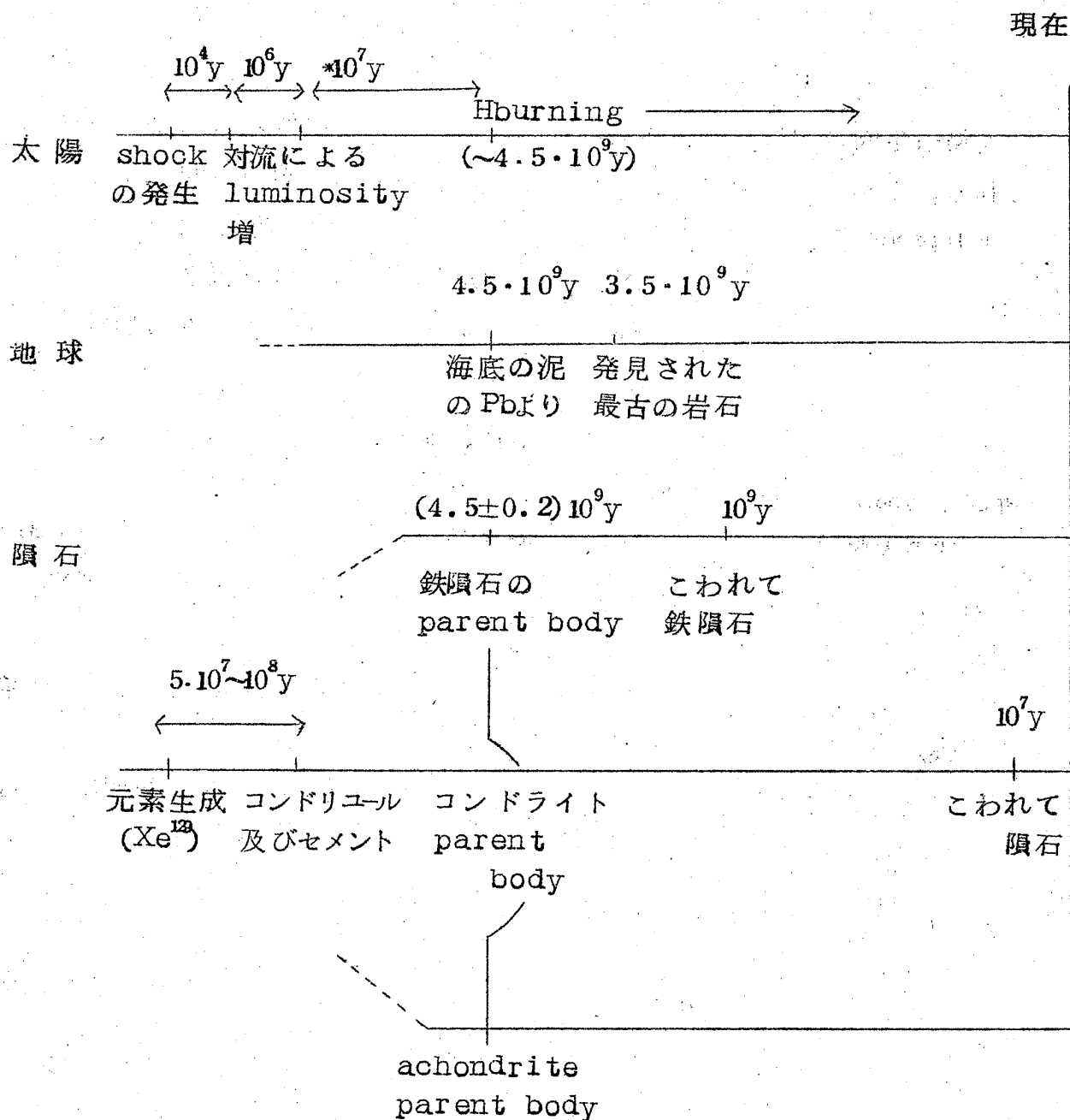
なお、地球の現在の大気の組成をもとに、くわしく検討してみる必要がある。

IV 彗星

彗星についてはあまり検討されていないが、次の点で大きな問題になる。

- 1 固体と気体が共存しているとすれば、太陽系の原始状態と同じである。
- 2 太陽系の生成のとき、銀河系における球状星団のようにとり残されたものか、
- 3 彗星が崩壊して生じたとされている流星群の宇宙じんはどういう物質でできているか、

太陽系の起源に関する年度



§3 他の theory との比較

我々の argument が、他の理論との比較をこころみよう。

その代表として、1962 年にアメリカの MASA で行われた「Origin of the

まとめ

Solar System のシンポジウムの意見を取りあげよう。そのシンポジウムの主流をなしたのは Hoyle の考えであるが、それと比較する。

	Ours	Hoyle
1) planet の生成	微粒子とガスとの共存系であることを強調する。 微粒子にブレーキがかかって沈澱する。	氷でくつつくことを強調する
2) 地球型、木星型の差	林氏の phase(対流による luminosity 増) を強調する。それで大気がにげた。	solar stream が地球型惑星をつくつたとする。
3) X-process 元素生成	収縮過程における C. R. の発生、その他いろいろあり得る。	太陽と、外側との間に ある mag line of force の働きを用いる。
4) 角運動量 business	galaxy の進化の analogy で考える。	
5) comet	Comet が重要なサンプルであることを指摘	comet については考えない。